



LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Lahti University of Applied Sciences

MUOVIPOHJAISEN PALOSUOJAN KÄYTTÖ PINNOITUKSESSA

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Muovitekniikan koulutusohjelma
Opinnäytetyö
Syksy 2011
Tuomo Lempiäinen

Lahden ammattikorkeakoulu
Muovitekniikan koulutusohjelma

LEMPIÄINEN, TUOMO: Muovipohjaisen palosuojan käyttö pinnoituksessa

Muovitekniikan opinnäytetyö, 36 sivua, 7 liitesivua

Syksy 2011

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää puusta valmistettujen levytuotteiden palonkestävyyden parantamista käyttämällä palonsuojapinnoitetta. Työn toimeksiantaja oli SouthWood-hankkeeseen (projektikoodi A30757) kuuluva Pinno-projekti, jota hallinnoi Lahden ammattikorkeakoulu. Tarkoituksena tässä työssä oli tutkia ja selvittää, mitkä aineet soveltuisivat parhaiten palonsuojapinnoitteen valmistukseen sekä mitkä menetelmät soveltuivat parhaiten pinnoitelevyn valmistukseen.

Opinnäytetyö alkaa teoriaosuudella, jossa on kerrottu yleisesti palamisesta sekä tilastotietoa tulipaloista. Teoriaosuudessa on myös selvitetty palonsuojapinnoitteen toimintaperiaate sekä pinnoitteiden kemialliset reaktiot.

Työn tutkimusosuuden alussa on kerrottu koevalmisteluista, joiden tarkoituksena oli selvittää, mistä materiaaleista palonsuojapinnoite olisi järkevintä valmistaa. Materiaalivalintojen jälkeen suoritettiin esitestejä, joissa selvitettiin palonsuojapinnoitteen eri ainesosien parhaat seossuhteet sekä levitysmäärä. Varsinaisissa testeissä pyrittiin selvittämään millä menetelmillä palonsuojapinnoite voidaan kiinnittää vanerin pintaan sekä kuinka eri menetelmät toimivat polttokokeissa.

Opinnäytetyön lopussa on esitetty työn tulokset. Tulokset osoittavat palosuojattujen koekappaleiden taustapuolen tummentumisen kestävän useita minuutteja pidempään kuin pelkän vanerin taustapuolen tummentumisen. Tuloksista voidaankin todeta muovipohjaisen palonsuojapinnoitteen hidastavan palamista merkittävästi.

Avainsanat: palonkestävyys, palonsuojapinnoite, polttokoe

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Plastics Engineering

LEMPIÄINEN, TUOMO: Usage of plastic-based fire retardant agent in coating

Bachelor's Thesis in Plastics Technology, 36 pages, 7 appendices

Autumn 2011

ABSTRACT

The aim of this Bachelor's Thesis was to find out how to improve the fire resistance of wooden panels by using fire retardant coatings. This study is part of the Pinno-project and it was made for Lahti University of Applied Sciences.

The study concentrated on investigating which substances would be the most suitable for fire retardant coatings. Another important point was to explore the possible manufacturing methods for panels with fire retardant coating.

The thesis has been divided into a theoretical and an experimental part. The theoretical part introduces general facts of combustion and fires. The theoretical part also deals with the principles and chemical reactions of the fire retardant coatings. The experimental part of the study consists of three tests. First, suitable materials for the fire retardant coating were selected. After the selection, there were preliminary tests for the correct mixing ratio and the spreading volume of ingredients. The main tests examined different alternatives for how fire retardant coating could be made to adhere to plywood and which method works best during the combustion test.

The research results reveal that the use of the fire retardant coating reduces the combustion process significantly. This study could be a starting point for more comprehensive further research.

Key words: fire resistance, fire retardant coating, combustion test

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
1.1	Pinno-projekti	1
1.2	EAKR-ohjelmat	1
1.3	SouthWood - Puutuotevalmistuksen ja rakentamisen kehittämishanke	2
1.4	Lähtökohta	2
1.5	Työn tavoite ja hypoteesi	3
2	PALAMINEN	4
2.1	Palamisen edellytykset	4
2.2	Palaminen kemiallisena reaktiona	5
2.3	Tulipalot	5
2.4	Palonesto	7
3	PALONSUOJAPINNOITE	8
3.1	Pinnoitteen koostumus	8
3.2	Kemialliset reaktiot	8
4	KOEVALMISTELUT	9
4.1	Materiaalivalinnat	9
4.1.1	Polystyreeni	9
4.1.2	Polyesteri	9
4.1.3	Polymetyylimetakrylaatti	10
4.1.4	Booraksi	10
4.1.5	Natriumbikarbonaatti	11
4.2	Materiaalien lämpöominaisuuksien testaaminen	11
4.3	Polystyreeni- ja polyesteripohjaisen palonsuojapinnoitteiden valmistus	12
4.4	Ensimmäiset koepoltot	13
4.5	Akryylipohjaisen palonsuojapinnoitteen valmistus liuotusmenetelmällä	14
4.6	Palosuoja-, akryyli- sekä puulevyn polttojen vertailu	15
5	ESITESTIT	16
5.1	Testeissä käytetyt materiaalit	16
5.1.1	Acrylicon 1071	16
5.1.2	Ammoniumpolyfosfaatti	16

5.1.3	Pentaerytritoli	17
5.2	Palonsuoja-aineiden ja Acrylicon 1071 seossuhteet sekä levitysmäärä	17
5.3	Polttokokeiden suorittaminen	18
5.4	Polttokoeolosuhteet	19
5.5	Polttokokeiden tulokset	21
6	TESTIT	23
6.1	Palonsuojapinnoitteen kiinnitysmenetelmät	23
6.2	Kiinnitysmenetelmien esittely	23
6.3	Saumakohdan palonsuojaus	24
6.4	Polttokokeiden suorittaminen	25
7	POLTTOKOKEIDEN TULOKSET	26
7.1	Polttokoe vanerin pintaan sivellylle koekappaleelle	26
7.2	Polttokoe polyesteriharsoon imeytetylle koekappaleelle	27
7.3	Polttokoe erilliselle palonsuojapinnoitelevylle	27
7.4	Polttokoe viilun pintaan sivellylle koekappaleelle	27
7.5	Polttokoe Novox-kalvon pintaan sivellylle koekappaleelle	28
7.6	Polttokoe pelkälle koivuvanerille	29
7.7	Tulosten arviointi	29
7.8	Jatkotutkimus	31
8	YHTEENVETO	32
	LÄHTEET	34
	LIITTEET	36

1 JOHDANTO

1.1 Pinno-projekti

Pinno-projekti on EAKR-rahoitteisen SouthWood-hankkeen osaprojekti, jonka hallinnoijana on Lahden ammattikorkeakoulu. Projektissa selvitettiin muovipohjaisen palosuojauksen käyttöä puulevyjen pinnoittamisessa. Toimeksiantajana tämän opinnäytetyön toteuttamisessa on Pinno-projekti, jonka projektipäällikkönä on toiminut Esa Auvinen.

1.2 EAKR-ohjelmat

Euroopan unioni osallistuu suomalaisten alueiden kehittämiseen Euroopan aluekehitysrahaston varoin viiden ohjelman avulla. Rahasto tukee hankkeita, jotka kehittävät yrityksiä, innovaatioiden syntymistä, verkottumista, osaamista ja alueiden saavutettavuutta. EAKR-ohjelmien rahoitusta käytetään yhdessä ESR-ohjelman rahoituksen kanssa kilpailukyvn ja työllisyyden edistämiseksi. Suomessa toteutetaan vuosien 2007 - 2013 rakennerahastokaudella viittä alueellista EAKR-ohjelmaa. Etelä-Suomi, Itä-Suomi, Länsi-Suomi, Pohjois-Suomi sekä Ahvenanmaa toteuttavat kukin omaa ohjelmaansa. Aluekehitysrahastosta tuetaan yrityksiä ja alueiden rakenteellista kehitystä investoinneilla, joilla turvataan asukkaiden tasa-arvoisuutta sekä tulevaisuutta eri maakunnissa. Aluekehitysrahasto on keskittynyt työllisyyden parantamiseen, alueiden kilpailukyvn kehittämiseen sekä elinvoimaisuuden lisäämiseen. Tavoitteet kannustavat yrittäjyyteen, innovaatioiden ja verkostojen synnyttämiseen, oppimis- ja innovaatioympäristöjen kehittämiseen sekä alueiden saavutettavuuden parantamiseen. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2011.)

1.3 SouthWood - Puutuotevalmistuksen ja rakentamisen kehittämishanke

SouthWood on puutuotevalmistuksen ja rakentamisen kehittämishanke, jonka toteuttajaverkostoon kuuluvat Lahden tiede- ja yrityspuisto Oy, STOK - Sähköisen talotekniikan osaamis- ja kehittämiskeskus / Posintra Oy, Teknologiakeskus Innopark Oy/Innopark Programmes Oy, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Kouvola Innovation Oy ja Lahden ammattikorkeakoulun Tekniikan ala. Lahden tiede- ja yrityspuisto toimii kokonaishankkeen hallinnoijana. Hankkeen tavoitteena sekä haasteena on puutuotevalmistajien ja rakentamisen yritysten liiketoimintaedellytysten parantaminen koko tuotantoketjussa. Ratkaisuna on tarkastella laajasti puutuotetoimialan ketjuja etsien ja tunnistuen ketjun kriittisiä pisteitä, joihin vaikuttamalla voidaan parantaa sekä yksittäisten toimijoiden että koko tuotantoketjun kilpailukykyä. Hankkeessa toimialarajoja laajennetaan kytkien puurakentamisen toimialaan mukaan yrityksiä, jotka eivät perinteisesti kuulu metsäteollisuusklusteriin. Toteutuksessa pyritään levittämään tuotetut ja pilotoidut hyvät käytännöt muiden osahankkeiden vaikutusalueelle ja valtakunnallisiksi käytännöiksi alan standardisoinnin ja käytäntöjen kehittämisen kautta. Lahden ammattikorkeakoulun toteuttama osahanke on "PINNO - Pinnoitusmenetelmä sisustus- tuotteiden valmistamiseen ja puurakentamisen tehokkuuden lisäämiseen". PINNO-osahankkeessa on keskitytty kehittämään ja selvittämään tuotanto- ja markkinointikelpoisuuden lähtökohdat uudelle puun pinnoitusmenetelmälle. (SouthWood 2009.)

1.4 Lähtökohta

Projektin lähtökohtana on heinäkuussa 2010 tehty kirjallisuus-, internet- ja lähdeselvitys puutuotteiden palonkestävyyden parantamisesta. Selvityksessä on tullut esiin mahdollisuus, jossa levyn pintaan kiinnitetään palosuojakerros, joka voisi hidastaa tai estää palon leviämistä.

Palonsuojapinnoite toimii normaalisti pintaa suojaavana pinnoitteena, kuten muutkin puun pinnoitusaineet. Kun lämpötila nousee liian korkeaksi, palonsuoja-

pinnoite vaahtoa ja pintaan syntyy pääosin hiilestä koostuva vaahtokerros, joka toimii puuta suojaavana ja palon leviämistä estävänä kerroksena.

1.5 Työn tavoite ja hypoteesi

Tavoitteena tässä työssä oli selvittää esimerkiksi sisustukseen käytettävien puusta valmistettujen levytuotteiden palonkestävyyttä käyttämällä palonsuojapinnoitetta. Tarkoituksena oli lisäksi tutkia ja selvittää, mitkä aineet soveltuisivat parhaiten palonsuojapinnoitteen valmistukseen sekä mitkä menetelmät soveltuvat parhaiten pinnoitelevyn valmistukseen. Työn hypoteesina oli aikaansaada levytuotteen pintaan palosuojakerros, jonka rungon muodostaisi palotilanteessa mahdollisimman vähän savua muodostava termoelastinen muovi. Muoviin lisätään vaahtoa muodostava, happea poistava, hiiltä sisältävä ja syntyneen hiilivaahdon sintraava aine. Olettamuksena oli, että pintaan syntynyt hiilivaaho muodostaa palosuojan ja estää tulen leviämisen.

2 PALAMINEN

2.1 Palamisen edellytykset

Ymmärtääkseen, miten palonsuojapinnoite toimii, on ymmärrettävä, kuinka palaminen tapahtuu. Liekehtivän palon perusedellytyksiin kuuluvat polttoaine, happi (ilma), riittävä lämpötila ja häiriintymätön kemiallinen reaktio. Hehkupalon perusedellytyksiä sen sijaan ovat polttoaine, happi sekä riittävä lämpötila. Hehkupalossa happi yhtyy suoraan polttoaineeseen aineen pinnassa ilman välittäviä reaktioita. Hehkumalla voivat palaa ainoastaan kiinteät aineet. Jonkin palamisen perusedellytyksen puuttuessa palaminen estyy kokonaan. (Hyttinen, Tolonen & Väisänen 2008, 17.)

Edellytys sille, että syttyvästä jähmeästä aineesta muodostuisi pyrolyysin vaikutuksesta kaasuja ja nesteestä höyrystymisen avulla höyryä ja kaasua, on riittävän korkea lämpötila. Palamisreaktio kiihtyy lämpötilan kasvaessa. Palamiseen vaikuttaa ratkaisevasti hapen saanti. Palamisilman suuri happipitoisuus kiihdyttää palamista ja vastaavasti happivaje hidastaa palamista. Palamisreaktiossa pitää olla mukana myös polttoainetta, kuten esimerkiksi puuta. (Hyttinen ym. 2008, 17.)

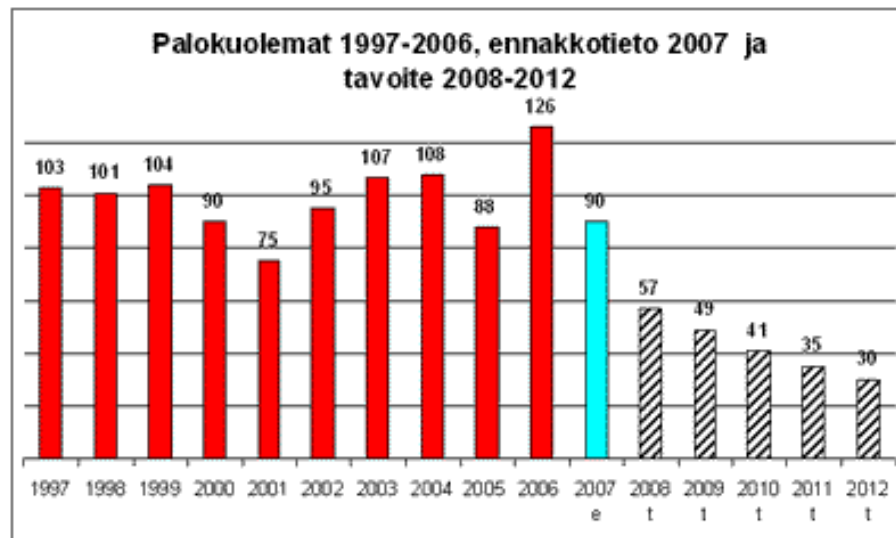
Hiilivetyjen, kuten jähmeiden orgaanisten aineiden, nesteytyvien aineiden ja poltonesteiden, liekillä palamista edeltää niiden pyrolysoituminen lämmön vaikutuksesta. Pyrolyysilla tarkoitetaan aineen kemiallista hajoamista lämmön vaikutuksesta. Liekin lämmön vaikutuksesta puusta alkaa muodostua syttyviä kaasuja sekä höyryjä, eli pyrolyysikaasuja. Puun sisältämä kosteus muodostaa lämmön vaikutuksesta palamatonta vesihöyryä. (Hyttinen ym. 2008, 21.)

2.2 Palaminen kemiallisena reaktiona

Palaminen on eksoterminen reaktio eli kemiallinen reaktio, joka vapauttaa lämpöä. Aineen palaminen vapauttaa kemiallista energiaa, jonka voi havaita lämpönä ja usein myös valona. Vapautuvan energian määrä riippuu palavasta aineesta. Jokaisella polttoaineella on myös tietyn suuruinen palamislämpö. Liekehtivässä palossa palamislämpötilalla tarkoitetaan kuumimpien liekkien lämpötilaa, hehkupalossa hehkupesäkkeen korkeinta lämpötilaa ja metallipalossa palavan metallin pinnan lähellä olevaa lämpötilaa. Palamislämpötilaan vaikuttavat esimerkiksi aineesta kehittyvien palokaasujen määrä, palamisilman saanti sekä palavan aineen lämpöarvo. Palamislämpötilaan vaikuttaa lisäksi palamisprosessin nopeus. (Hyttinen ym. 2008, 22.)

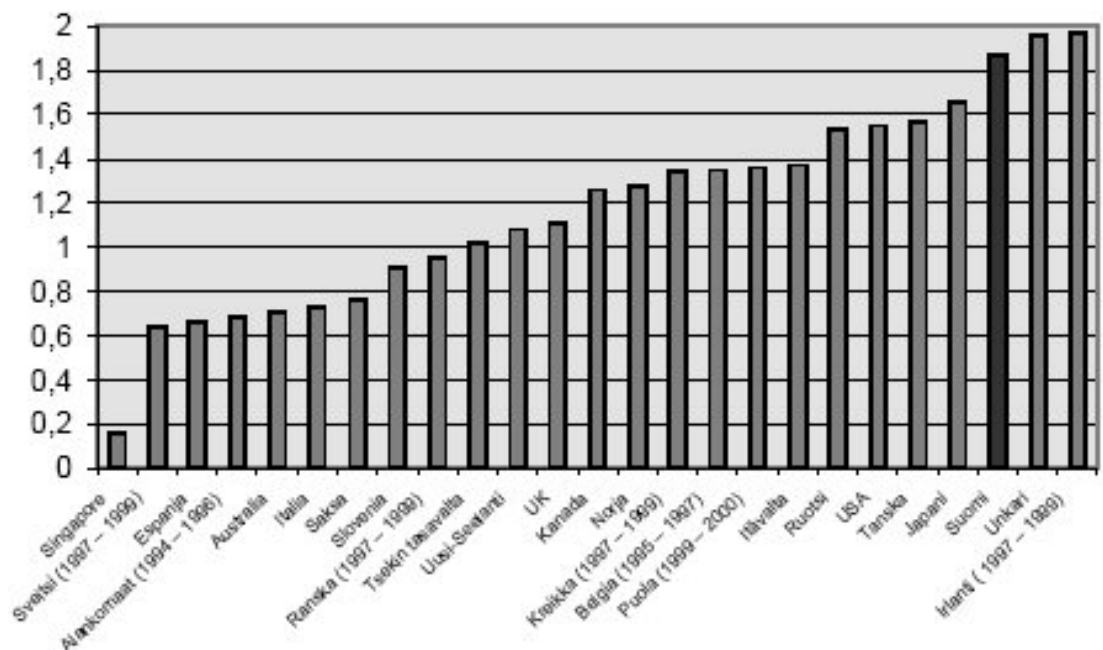
2.3 Tulipalot

Tulipaloja syttyy rakennuksissa vuosittain 6 000 – 7 000. Yli 95 % kuolemaan johtavista tulipaloista syttyy asuinympäristössä. Tulipaloissa kuolleiden määrä on tilastojen mukaan keskimäärin 87 henkilöä vuodessa. Vuosina 1997 - 2007 Suomessa on kuollut tulipaloissa vuosittain 75 - 126 ihmistä. Vuonna 2007 palokuolemia sattui 91. Näistä oli tapaturmaisia 76, itsemurhia 9, henkirikoksia 3 ja epäselviä 3. Palokuolleista miehiä oli 76 % ja naisia 24 %. Vuosien 1997 - 2007 palokuolemaluvut on saatu Tilastokeskuksen kuolemansyytilastoista. Vuoden 2010 aikana tapahtui 80 palokuolemaa Suomen Pelastusalan Keskusjärjestön mediaseurannan mukaan. Tilastotietoa palokuolemista on esitetty kuviossa 1. (Sisäasiainministeriö 2011.)



KUVIO 1. Palokuolemat vuosien 1997 - 2007 aikana (Sisäasiainministeriö 2011)

Palokuolemien määrä Suomessa, suhteessa muiden Länsi-Euroopan maiden palokuolemiin, on huomattavan suuri. Suomessa tulipaloissa kuolee keskimääräisesti enemmän ihmisiä kuin muissa Pohjoismaissa. Palokuolematapauksien lukumäärärien vertailua suhteutettuna maiden asukaslukuihin (kuollutta / 100 000 asukasta) eri maissa on esitetty kuviossa 2. (Sisäasiainministeriö 2011.)



KUVIO 2. Palokuolemat eri maissa vuosien 1998 - 2000 aikana (Sisäasiainministeriö 2011)

Asiantuntijoiden mukaan kotimaista paloturvallisuutta kohentamalla voitaisiin päästä alle 30 palokuolemaan vuonna 2012. Näin Suomi nousisi paloturvallisuuden eurooppalaisessa vertailussa viiden parhaan maan joukkoon. Palokuolematapausten lukumäärän kasvuun vaikuttavat huomattavasti väestön ikääntyminen ja yksinasuvien vanhusten määrän kasvu. Ennusteen mukaan palokuolemien määrä voi nousta jopa 130 - 140 tapauksen tasolle vuoteen 2025 mennessä. Toisin kuin muissa teollisuusmaissa, riski palokuolemiin on pysynyt Suomessa samalla tasolla 1980-luvun alusta saakka. Vuoden 2004 jälkeen esimerkiksi Virossa on tapahtunut huomattava käänne parempaan. (Suomi on palokuolemien synkkää aluetta 2009.)

2.4 Palonesto

Kuten edellä olevasta tekstistä käy ilmi, Suomessa kuolee tulipaloissa keskimäärin 100 ihmistä vuodessa. Paloturvallisuuden kehittäminen on ilmeistä, ja yksi varteenotettava kehityskohde on puutuotteiden paloturvallisuuden parantaminen. Tässä työssä tarkoituksena on kehittää muovipohjainen palonsuojalevy, joka hidastaa tai estää tulen syttymisen. Kun palonsuojalevyn lämpötila nousee liian korkeaksi, palonsuojapinnoite muodostaa pintaan pääosin hiilestä koostuvan vaahtokerroksen, joka toimii palamista estävänä eristeenä. Kyseisen menetelmän toiminessa, palonsuojauksella voidaan pelastaa ihmishenkiä ja vähentää merkittävästi vuosittaisia palokuolemia.

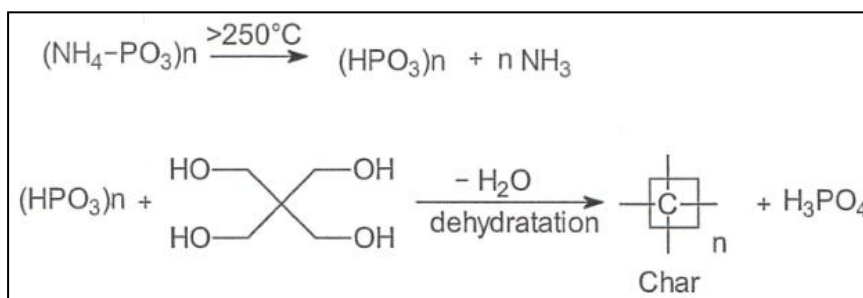
3 PALONSUOJAPINNOITE

3.1 Pinnoitteen koostumus

Palonsuojapinnoite koostuu neljästä pääaineesta: sidosaineesta, vaahdotusaineesta, hiiletysaineesta sekä haponluovuttajasta. Sidosaineena voidaan käyttää eri muovimateriaaleja. Vaahdotusaineena tässä työssä on käytetty natriumbikarbonaattia, hiiletysaineena booraksia sekä pentaerytritolia ja hapotusaineena ammoniumpolyfosfaattia.

3.2 Kemiaalliset reaktiot

Palonsuojalevyn toiminta perustuu sen pääaineiden kemiallisiin reaktioihin. Lämpötilan kohotessa yli kriittisen pisteen haponluovuttaja (ammoniumpolyfosfaatti) luovuttaa happoa. Tämä happo reagoi hiiletysaineen (pentaerytritoli) kanssa ja samaan aikaan vaahdotusaine (natriumbikarbonaatti) muodostaa vaahtoa. Vaahdon pintaan syntyy hiilikerros, joka suojaa palamiselta. Kuviossa 3 on havainnollistettu ammoniumpolyfosfaatin sekä pentaerythritolin käyttäytymistä kemiallisiin reaktioihin, kun lämpötila materiaalissa nousee yli 250 °C:n. (Simon.)



KUVIO 3. Ammoniumpolyfosfaatin reaktioyhtälö pentaerytritolin kanssa (Simon)

4 KOEVALMISTELUT

4.1 Materiaalivalinnat

Ennen varsinaisia kokeita suoritettiin koevalmisteluja, joiden tarkoituksena oli löytää sopivin muovimateriaali käytettäväksi palonsuojalevyyn sekä haluttiin selvittää, kuinka toimii palonsuojapinnoite, jossa on käytetty palonsuoja-aineina ai-noastaan natriumbikarbonaattia ja booraksia.

Muovimateriaalin valinta suoritettiin polystyreenin, polyesterin ja polymetyyli-metakrylaatin välillä. Palonsuoja-aineina käytettiin booraksia ja natriumbikarbonaat-tia. Testatuista muovimateriaaleista sekä palonsuoja-aineista on kerrottu lyhyesti seuraavissa alaluvuissa.

4.1.1 Polystyreeni

Polystyreeni on yleinen, lasinkirkas kova muovimateriaali. Polystyreenin muita tyypillisiä ominaisuuksia ovat jäykkyys, hyvät sähköneristysominaisuudet, alhai-nen vedenimemiskyky sekä helppo työstettävyys. Polystyreeni palaa helposti no-keavalla liekillä. Polystyreenin käyttökohteisiin lukeutuvat esimerkiksi jääkaappi-en, televisioiden ja radioiden osat, pakkaukset, pullot, kotelot sekä rasiat. (Tam-mela 1989, 94.)

4.1.2 Polyesteri

Polyestereita valmistetaan polykondensoimalla vähintään kaksi hydroksyyli-ryh-mää sisältäviä alkoholeja dikarboksyylihappojen kanssa, jolloin lähtöaineet liitty-vät toisiinsa esteriryhmien välityksellä. Polyestereiden neljä päätyyppiä ovat seu-raavat: tyydyttymättömät polyesterit, alkydihartsit, pienimolekyyliset tyydytetyt polyesterit sekä suurimolekyyliset polyesterit. (Tammela 1989, 138.)

Muovipulloissa käytetty polyeteenitereftalaatti (PET) on käytetyin polyesteri. Muita PET:n käyttökohteita ovat esimerkiksi ruokapakkausrasiat sekä läpinäkyvät, puristettavat hillo-, hunaja- ja kastikepakkaukset. PET:tä käytetään myös kangaskuituna paljon. (Järvinen 2008, 75.)

Kertamuovityyppinen polyesteri (UP) on yleisin lujitemuovirakenteissa käytetty muovityyppi. Sen käyttökohteita ovat esimerkiksi purje-, soutu- ja moottoriveneiden valmistus. (Järvinen 2008, 123.)

4.1.3 Polymetyylimetakrylaatti

Polymetyylimetakrylaatti (PMMA) on eniten käytetty akryylimuovi. Se on kirkasta ja väritöntä polymeeriä. Sen käyttökohteita ovat esimerkiksi levytuotteet, heijastimet, autojen valot, kojelautojen linssit, lamput, keittiökulhot sekä viivottimet. (Järvinen 2000, 44.)

PMMA:n ominaisuuksiin kuuluvat muun muassa hyvä mekaaninen kestävyys, korkea kimmokerroin ja pieni murtovenymä. Se on yksi kovimmista kesto-muoveista, ja sillä on erinomainen naarmuuntumisen kestävyys. Sillä on pieni veden absorptio ja kosteuden imeytyminen, joten siitä valmistetuilla tuotteilla on hyvä mittapysyvyys. Molemmat edellä mainituista ominaisuuksista paranevat lämpötilan noustessa. (Tampereen teknillinen yliopisto, Valimoinstituutti, Aalto-yliopisto 2009.)

4.1.4 Booraksi

Booraksi on valkoista puuterimaista tai granulaattimaista ainetta, jota käytetään kotitalouksissa esimerkiksi kullan ja hopean puhdistamisessa. Mineraalina sen käyttö ajoittuu jo 1940-luvun alkupuolelle ja tänä päivänä sitä hyödynnetään muun muassa lääkkeiden, liimojen sekä nahan valmistuksessa, korroosionestossa, palonestoaineissa sekä rakettien polttoaineissa. Booraksi on tärkein teollisuuskäytössä olevista boorimineraaleista. (Minerals zone 2005.)

4.1.5 Natriumbikarbonaatti

Natriumbikarbonaatti eli natriumvetykarbonaatti (NaHCO_3) on valkoista veteen hyvin liukenevaa jauhetta. Natriumvetykarbonaatti hajoaa kuumennettaessa natriumkarbonaatiksi, hiilidioksidiksi sekä vedeksi. Yleisnimitys natriumvetykarbonaatille on ruokasooda, kun taas natriumkarbonaattia kutsutaan soodaksi. (Sodium Bicarbonate, CAS N°: 144-55-8, 2002.)

4.2 Materiaalien lämpöominaisuuksien testaaminen

Palonsuojalevyn valmistusmenetelmän määrittämiseksi booraksille ja natriumbikarbonaatille suoritettiin DSC-mittauksia. Testausten tavoitteena oli selvittää, kuinka kyseiset aineet reagoivat lämpötilaa nostettaessa.

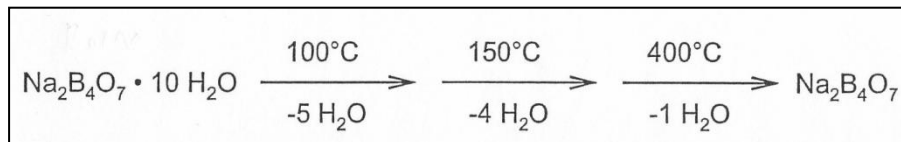
Differentiaalinen pyyhkäisykalometria (DSC) on termanalyytinen tutkimusmenetelmä, jolla määritetään eri materiaalien lämpöominaisuuksia. DSC:llä mitataan näytteessä tapahtuvien reaktioiden sitomaa tai vapauttamaa lämpöenergian määrää ja tällä tavalla pyritään tulkitsemaan näytteessä tapahtuvia muutoksia. (Fysikaalisen farmasian yhdistys 2004.)

DSC-mittaukset suoritettiin ramppiajoina, joissa lämpötila-alueeksi valittiin 20 - 300 °C. Ramppiajo toteutettiin nostamalla lämpötila 20 °C:sta 300 °C:seen, jonka jälkeen lämpötila laskettiin jälleen 20 °C:seen. DSC-mittalaite piirsi graafisesti koko ajan aikana tapahtuneet aineiden reagoinnit, joista voitiin testin jälkeen päätellä, mitä missäkin lämpötilassa oli tapahtunut.

Natriumbikarbonaatille tehdyt testit osoittivat sen hajoavan noin 140 °C:n lämpötilassa (LIITE 1).

Booraksille tehdyt DSC- mittaukset ilmensivät, että booraksi reagoi 100, 150 ja 400 °C:n lämpötiloissa. 100 °C:n kohdalla booraksista poistui 5 vesimolekyyliä ja 150 asteen kohdalla 4 vesimolekyyliä. 400 °C:ssa poistui vielä yksi vesimolekyy-

li. Booraksin DSC-kokeen tulokset on esitetty työn liitteessä (LIITE 2). Alla oleva kuvio 4 selventää vesimolekyylien poistumista.



KUVIO 4. Booraksin vesimolekyylien haihtuminen lämpötilan noustessa (Simon)

Natriumbikarbonaatin DSC-testituloksien perusteella pystyttiin päättämään, että palosuojalevyn valmistaminen ekstruuderilla tai ruiskuvalamalla on mahdotonta, koska aineen hajoaminen tapahtuu jo 140 °C lämpötilassa. Tästä syystä ensimmäiset koekappaleet päätettiin valmistaa liuotusmenetelmällä.

4.3 Polystyreeni- ja polyesteripohjaisen palonsuojapinnoitteiden valmistus

Ensimmäisissä palonsuojapinnoitteissa käytettiin muovimateriaalina polystyreeniä ja polyesterihartsia. Aineiden seossuhteet olivat seuraavat: 80% muovimateriaalia, 10 % booraksia ja 10 % natriumbikarbonaattia. Polystyreeni-palonsuojapinnoite valmistettiin liottamalla muovigranulaatit hyytelömäiseksi massaksi. Tämän jälkeen muovimassaan sekoitettiin palonsuoja-aineet. Kun aineet olivat sekoittuneet hyvin, massa levitettiin ohueksi kerrokseksi vanerilevyn pintaan ja jätettiin kuivumaan. Koelevyn annettiin kuivua rauhassa, jotta kaikki liuoitinaineet olivat varmasti haihtuneet pois levystä. Polyesteri-palonsuojapinnoite valmistettiin sekoittamalla palonsuoja-aineet sekä kovettaja hartsin sekaan, jonka jälkeen massa levitettiin vanerin pintaan. Tämän jälkeen koelevyt olivat valmiita ja päästiin suorittamaan ensimmäiset koepoltot.

4.4 Ensimmäiset koepoltot

Koepoltot toteutettiin käsikäyttöisen kaasupolttimen avulla. Koepoltoissa koelevy asetettiin pystyasentoon ja hieman takaviistoon. Kaasupolttimen sinisen liekin pituus säädettiin kolmeen senttimetriin. Kaasupolttimen etäisyys koelevyyn oli 10 cm. Koelevyä poltettiin kaksi ja puoli minuuttia, minkä jälkeen kappaleen annettiin jäähtyä. Polystyreenin koepolttoa on kuvattu kuviossa 5 ja polyesterin koepolttoa kuviossa 6.



KUVIO 5. Polystyreenipinnoitteen polttaminen



KUVIO 6. Polyesteripinnoitteen polttaminen

Ensimmäisten koepolttojen perusteella polystyreenipohjainen palonestopinnoite toimi polyesteripohjaista palonestopinnoitetta paremmin. Palaessaan pinnoite muodosti levyn pintaan vaahtoa ja hiiltä, kuten tarkoitus olikin. Polystyreenipinnoitteen polttaminen aiheutti huomattavan määrän savua. Paloturvallisuuskö- kulma huomioiden, päätettiin seuraavat koelevyt valmistaan käyttämällä muovi- materiaalina polymetyylimetakrylaattia (PMMA); akryylin tiedetään palavan huomattavasti puhtaammin kuin polystyreenin (KUVIO 7).



KUVIO 7. Akryyli palaa puhtaammin kuin polystyreeni

4.5 Akryylipohjaisen palonsuojapinnoitteen valmistus liuotusmenetelmällä

Akryylipohjaisen koemassan valmistuksessa käytettiin ensiksi liottimena ksyleeniä. Ksyleeni liuotti akryyliä huomattavan hitaasti huoneenlämmössä, joten lämpötilaa päätettiin nostaa 50 °C liukenemisreaktion nopeuttamiseksi. Lämpötilaa nostettaessa liukenemisreaktio nopeutui, mutta ksyleenin haihtuvuus puolestaan kasvoi liikaa. Koska ksyleeni ei toiminut akryylin liottamisessa halutulla tavalla, päätettiin liuottamista testata asetonilla. Liukeneminen asetonilla huoneenlämmössä tapahtui kohtalaisen nopeasti, joten se valittiin käytettäväksi liuottimeksi. Akryyli liuotettiin hyytelömäiseksi massaksi, johon palonsuoja-aineet lisättiin. Aineiden seossuhteet olivat seuraavat:

- akryyliä 80 %
- booraksia 10 % ja
- natriumbikarbonaattia 10 %.

Akryylipohjaisen palonsuojalevyn polttaminen ei aiheuttanut haitallista savua. Levyn pintaan muodostui lisäksi vaahtoava hiilikerros, joka suojasi puuta palamiselta. Polttokokeiden tulosten perusteella päätettiin palosuojalevyn muovimateriaalina käyttää akryyliä.

4.6 Palosuoja-, akryyli- sekä puulevyn polttojen vertailu

Koevalmistelujen lopuksi tahdottiin suorittaa vielä polttokoe, jossa eri levymateriaalien polttamista verrattaisiin toisiinsa. Kokeessa käytettiin 6 mm:n paksuista koivuvaneria ja polttoajaksi määritettiin 2,5 minuuttia. Ensimmäisessä koekappaleessa vanerin pintaan oli levitetty palosuojapinnoitetta. Toinen koekappale oli vanerin pintaan kiinnitetty akryylilevy. Kolmantena poltettavana koekappaleena toimi pelkkä puhdas vaneri. Pelkkä vaneri paloi polttokokeessa kokonaan läpi. Koekappale, jossa puhdas akryylilevy oli kiinnitetty vanerin pintaan, paloi polttokokeessa suurella liekillä. 2,5 minuutin polton jälkeen akryylilevy oli palanut puhki ja vanerilevyn toinenkin puoli oli jo tummunut. Polton jälkeen koekappale jatkoi edelleen palamista. Palosuojalevyä poltettaessa sen pintaan muodostui hiilikerros, joka suojasi vanerilevyä palamiselta. 2,5 minuutin polton jälkeen pinnoite ei palanut eikä tuli ollut päässyt vaneriin saakka. Koekappaleen poikkileikkaus osoitti vanerin olevan polton jälkeen täysin ehjä. Polttokokeesta on kuvasarja liitteenä (LIITE 3).

5 ESITESTIT

Ennen varsinaisia testejä suoritettiin esitestejä, joiden tarkoituksena oli selvittää palonsuoja-aineiden ja akryylin parhaat seossuhteet sekä palonsuojapinnoitteen optimaalisin levitysmäärä.

5.1 Testeissä käytetyt materiaalit

Muovimateriaalina varsinaisia testejä edeltäneissä kokeissa käytettiin Acrylicon 1071:tä, joka on nestemäistä akryyliä. Palonsuoja-aineina käytettiin booraksia, natriumbikarbonaattia, ammoniumvetyfosfaattia sekä pentaerytritolia. Testeissä käytetyistä aineista, lukuun ottamatta booraksia ja natriumbikarbonaattia, joista kerrottiin luvuissa 4.1.4 ja 4.1.5, on kerrottu lyhyesti seuraavissa alaluvuissa.

5.1.1 Acrylicon 1071

Acrylicon 1071 hartsi on nestemäinen, kylmässä kovettuva metakrylaattihartsi, jonka lähtöaineena on metyyli­metakrylaatti-monomeeri (MMA). Acrylicon 1071 hartsi ja kovettamiseen tarvittava kiihdytin (kovettaja), joka on dibentsoyyliperoksidipohjainen, kuuluvat määräysten mukaisesti terveydelle vaarallisiin aineisiin.

5.1.2 Ammoniumpolyfosfaatti

Ammoniumpolyfosfaatti on orgaaninen polyfosforisuolahapon ja ammoniak­in suola. Kyseisen polymeeriyhdisteen ketjun pituus on vaihteleva ja voi olla jopa suurempi kuin 1000. Ketjun ollessa lyhyt ja lineaarinen aine on herkempi vedelle sekä vähemmän lämpöstabiili. Ketjun ollessa pidempi aineen vesiliukoisuus paranee. Ammoniumpolyfosfaatti on stabiili, heikosti haihtuva yhdiste. Pitkäketjuinen ammoniumpolyfosfaatti alkaa hajota polyfosforihapoksi ja ammoniakiksi lämpötilan noustessa yli 300 °C. Ammoniumpolyfosfaattia käytetään esimerkiksi puun sekä metallien palonestopinnoitteissa ja maaleissa. Lisäksi sitä käytetään muun

muassa autoteollisuudessa muovimateriaaleissa. Käytettäessä ammoniumpolyfosfaattia palonestoaineissa voidaan se yhdistää toiseen materiaaliin usealla eri tavalla. Yksi helppo tapa on liuottaa se liuotteeseen tai vesipohjaiseen hartsiin. Ammoniumpolyfosfaatti voidaan myös integroida esimerkiksi ruiskuvalettuun kovettuuneeseen hartsiin tai muovimateriaaliin. Ammoniumpolyfosfaattipohjaiset palonestoaineet ovat olleet käytössä maailmanlaajuisesti jo 1960-luvun alkupuolelta lähtien. (European flame retardants association 2006.)

5.1.3 Pentaerytritoli

Pentaerytritoli on kiteinen, väriltään valkoinen polyoli. Pentaerytritolin käyttökohteita ovat muun muassa useat eri esterit, kuten hartsiesteri, jota käytetään liimoissa sekä painoväreissä. Sitä käytetään myös useissa eri yhdisteissä, joista mainittakoon esimerkiksi PETN-räjähdysaineessa. Ensisijaisesti pentaerytritolia käytetään polymeerituotannossa. Kyseinen kemikaali on hyvin laajalti käytetty alkydihartsien ja muiden pinnoiteyhdisteiden valmistuksessa. Mikronisoidussa muodossaan kyseistä ainetta käytetään palonestoaineissa. (Esaar International 2011.)

5.2 Palonsuoja-aineiden ja Acryliccon 1071 seossuhteet sekä levitysmäärä

Palonsuoja-aineiden sekoitusmäärät testejä varten laskettiin aineiden moolimassoista. Palonsuojaseos tehtiin sekoittamalla kutakin neljää ainetta moolipainojen suhteessa.

- Booraksi ($\text{Na}_2(\text{B}_4\text{O}_7) \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) \rightarrow 382,08 g/mol
- Natriumbikarbonaatti (NaHCO_3) \rightarrow 84,01 g/mol
- Ammoniumpolyfosfaatti ($\text{NH}_4 \text{PO}_3$) \rightarrow 132,06 g/mol
- Pentaerytritoli ($\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}_4$) \rightarrow 136,14 g/mol.

Palonsuojaseoksen ja Acryliccon 1071 parhaan seossuhteen selvittämiseksi valmistettiin kolme eri näytettä, joissa palonsuojaseoksen määrä Acryliccon 1071 määrästä oli 33 %, 66 % sekä 100 %.

Parhaan levitysmäärän selvittämiseksi päätettiin koekappaleita valmistaa kolmella eri palonsuojapinnoitteen levitysmäärällä. Levitysmäärä ensimmäisessä tapauksessa oli 200 g/m^2 , toisessa 400 g/m^2 ja kolmannessa 800 g/m^2 .

5.3 Polttokokeiden suorittaminen

Optimaalisimman palonsuojapinnoitteen seossuhteen sekä levitysmäärän selvittämiseksi tehtiin koejärjestely yhdeksää eri polttokoetta varten. Polttokokeet suoritettiin kuviossa 8 esitetyn matriisin mukaisesti, yhdeksällä eri seossuhteen ja levitysmäärän kombinaatiolla. Kuviossa 9 on esitetty polttokoematriisin mukaisesti valmistetut koekappaleet.

Seossuhde %	33 %	33% - 200 g/m^2	33% - 400 g/m^2	33% - 800 g/m^2
	66 %	66% - 200 g/m^2	66% - 400 g/m^2	66% - 800 g/m^2
	100 %	100% - 200 g/m^2	100% - 400 g/m^2	100% - 800 g/m^2
		200 g/m^2	400 g/m^2	800 g/m^2
		Levitysmäärä g/m^2		

KUVIO 8. Polttokoematriisi



KUVIO 9. Polttokoematriisin mukaisesti valmistetut koekappaleet

5.4 Polttokoeolosuhteet

Ennen polttokokeita testausolosuhteet määriteltiin tarkoin vertailukelpoisten tulosten aikaansaamiseksi. Testausolosuhteet on esitetty taulukossa 1. Kokeissa käytetty polttoteline on esitetty kuviossa 10.

TAULUKKO 1. Esitestien testausolosuhteet

Koekappaleen materiaali	Koivuvaneri
Koekappaleen paksuus	9 mm
Koekappaleen koko	100 x 100 mm
Testauslämpötila	23,2°C
Kaasupolttimen korkeus	135 mm
Kaasupolttimen liekin pituus	60 mm
Liekin sinisen osan pituus	20 mm
Koekappaleen etäisyys pöytään	220 mm



KUVIO 10. Polttoteline

Polttokokeessa koekappaleet asetettiin polttotelineeseen palosuojakerros alaspäin. Polttotelineen alle oli asetettu kaasupoltin, jolla koekappaleet poltettiin. Kolmijalan ja koekappaleen väliin asetettiin alumiinipelti, johon oli tehty halkaisijaltaan 90 mm:n reikä (KUVIO 11). Tällä estettiin koetilanteessa liekin kiertäminen koekappaleen taustapinnalle. Polttokokeessa vanerin taustalämpötila mitattiin 30 sekunnin välein. Koekappaleita poltettiin niin kauan, että vanerin taustapuoli alkoi tummentua. Tummentuminen alkoi, kun vanerin taustalämpötila oli noin 210 °C.

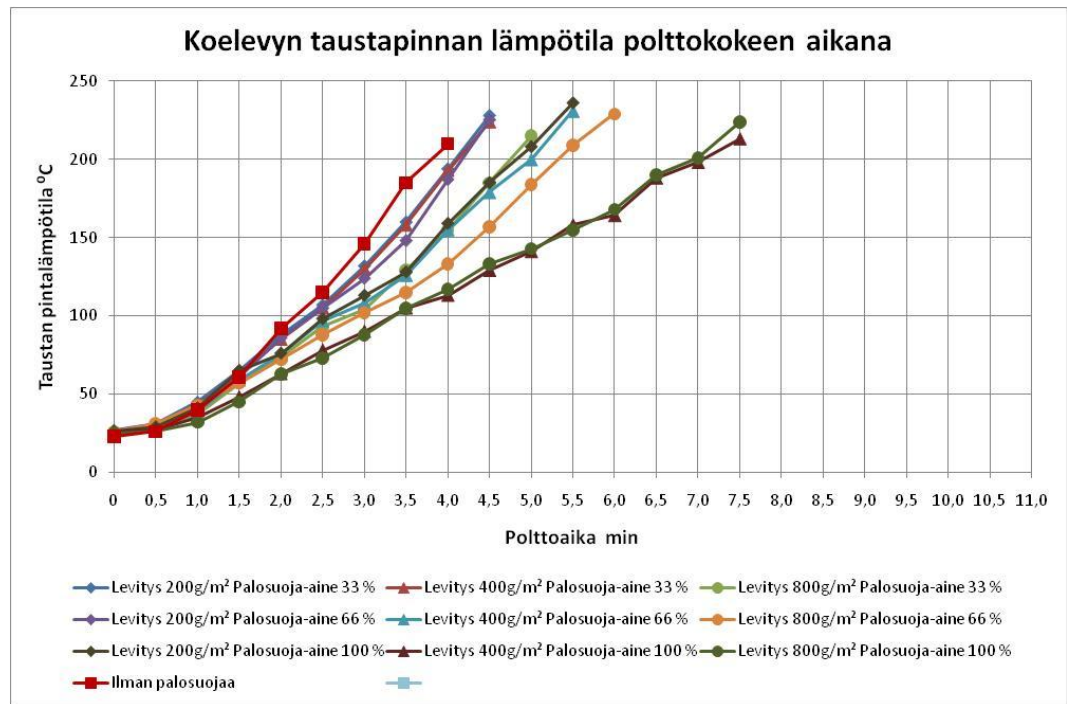


KUVIO 11. Polttokokeissa käytetty alumiinipelti

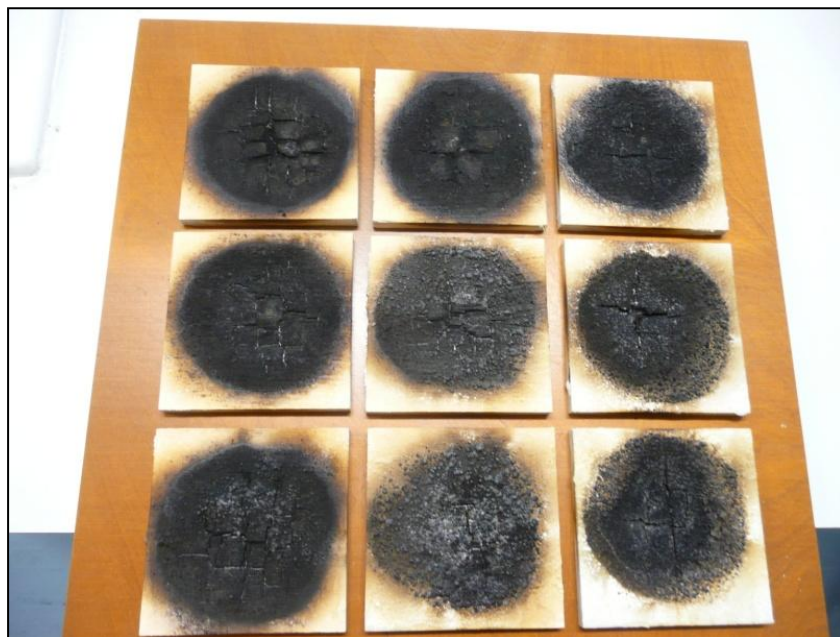
5.5 Polttokokeiden tulokset

Esitestien polttokokeiden tulokset on esitetty kuviossa 12. Näiden testien tarkoituksena oli selvittää palonsuoja-aineiden ja akryylin parhaat seossuhteet sekä palonsuojapinnoitteen optimaalisin levitysmäärä. Polttokokeissa parhaat tulokset saatiin kahdella koekappaleella, joiden palonsuojaseoksen määrä oli 100 % akryylin määrästä. Toisessa koekappaleessa levitysmääränä oli 400 g/m^2 ja toisessa 800 g/m^2 . Molempien koekappaleiden taustapuoli alkoi tummentua, kun kappaleita oli poltettu 7,5 minuuttia. Polttokoe suoritettiin myös puhtaalle vanerilevyille. Vanerilevy alkoi tummentua neljän minuutin polttoajan jälkeen. Palonsuoja-aineen suuri määrä akryyliin nähden aiheutti ongelmia pinnoitteen levittämiseen – mitä enemmän palonsuojaseosta sekoitettiin akryyliin, sitä jäykemmäksi seos muuttui ja sekoittaminen vaikeutui.

Varsinaisissa testeissä päätettiin käyttää palonsuojapinnoitetta, jonka levitysmäärä oli 800 g/m^2 ja palonsuojaseoksen määrä 66 % akryylin määrästä. Koekappale, jossa kyseistä levitysmäärää ja seossuhdetta oli käytetty, kesti polttokokeessa 6 minuuttia. Valintaan päädyttiin, sillä tällä levitysmäärällä ja seossuhteella palonsuojapinnoite toimi polttokokeessa hyvin. Valinnoissa oli lisäksi huomioitava, että palonsuojapinnoitteen levittäminen eri materiaalien pintaan onnistuisi mahdollisimman hyvin. Kuviossa 13 on esitetty esitesteissä poltetut yhdeksän koekappaleita.



KUVIO 12. Koelevyjen taustapintojen lämpötilat polttokokeiden aikana



KUVIO 13. Esitesteissä poltetut yhdeksän koe kappaletta

6 TESTIT

Varsinaisissa testeissä kartoitettiin millä menetelmillä palonsuojapinnoite voidaan kiinnittää vanerin pintaan ja kuinka eri menetelmät toimivat polttokokeissa.

6.1 Palonsuojapinnoitteen kiinnitysmenetelmät

Tässä työssä palonsuojapinnoitteen kiinnittämistä vanerilevyyn testattiin viidellä eri menetelmällä, jotka olivat seuraavat:

1. vanerin pintaan siveltyinä
2. viilun pintaan siveltyinä
3. Novox-kalvon pintaan siveltyinä
4. polyesteriharsoon imeytettynä sekä
5. erillisellä palonsuojapinnoitelevyllä.

6.2 Kiinnitysmenetelmien esittely

Ensimmäisessä menetelmässä palonsuojapinnoite siveltiin suoraan vanerin pinnalle. Tällä menetelmällä valmistettiin kaksi erilaista koekappaletta. Niistä ensimmäinen sisälsi palonsuoja-aineina ainoastaan booraksia ja natriumbikarbonaattia. Toinen vanerin pintaan sivelty koekappale sisälsi kaikki palonsuoja-aineet, joita näissä kokeissa normaalisti käytettiin.

Toisessa menetelmässä palonsuojapinnoite siveltiin 0,7 mm paksuisen koivuviilun pintaan. Kun palonsuojapinnoite oli kuivunut, viilu kuumapuristettiin ja liimattiin polyuretaaniliimalla koivuvaneriin kiinni.

Kolmannessa menetelmävaihtoehdossa palonsuojapinnoite siveltiin Novox-kalvon pintaan, jonka jälkeen kalvo kuumapuristettiin koivuvaneriin kiinni. Novox-kalvo on puuteollisuudessa käytettävä pinnoituskalvo.

Neljäs menetelmä toimi siten, että palonsuojapinnoite imeytettiin polyesteriharsoon. Tämän jälkeen polyesteriharso kuumapuristettiin koivuvaneriin kiinni.

Viimeisessä menetelmävaihtoehdossa palonsuojapinnoite siveltiin metallilevyn päälle. Pinnoitteen annettiin kuivua, jonka jälkeen se irroitettiin metallilevystä. Näin saatiin valmistettua erillinen palonsuojapinnoitelevy. Tämä levy liimattiin polyuretaaniliimalla koivuvaneriin kiinni.

6.3 Saumakohdan palonsuojaus

Puulevytuotteiden palonsuojauksessa on huomionarvoista saumakohtien palonkestävyys. Tulen leviäminen saumasta levyn toiselle puolelle tulee estää. Työssä selvitettiin, kuinka puskusauma kestää polttokokeissa. Puskusaumalla tarkoitetaan levyjen asentamista tiiviisti vierekkäin toisiansa vasten ilman limitystä tai ponttia. (KUVIO 14). Puskusaumapolttokokeet suoritettiin polyesteriharsoon imeytetylle palonsuojapinnoitteelle, erilliselle palonsuojapinnoitelevylle sekä pelkälle koivuvanerille.



KUVIO 14. Puskusauma

6.4 Polttokokeiden suorittaminen

Polttokokeet suoritettiin samalla tavalla kuin esitestit. Polttokoeolosuhteet on esitetty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Polttokoeolosuhteet

Koekappaleen materiaali	Koivuvaneri
Koekappaleen paksuus	9 mm
Koekappaleen koko	100 x 100 mm
Testauslämpötila	23,3 °C
Kaasupolttimen korkeus	135 mm
Kaasupolttimen liekin pituus	60 mm
Liekin sinisen osan pituus	20 mm
Koekappaleen etäisyys pöytään	220 mm

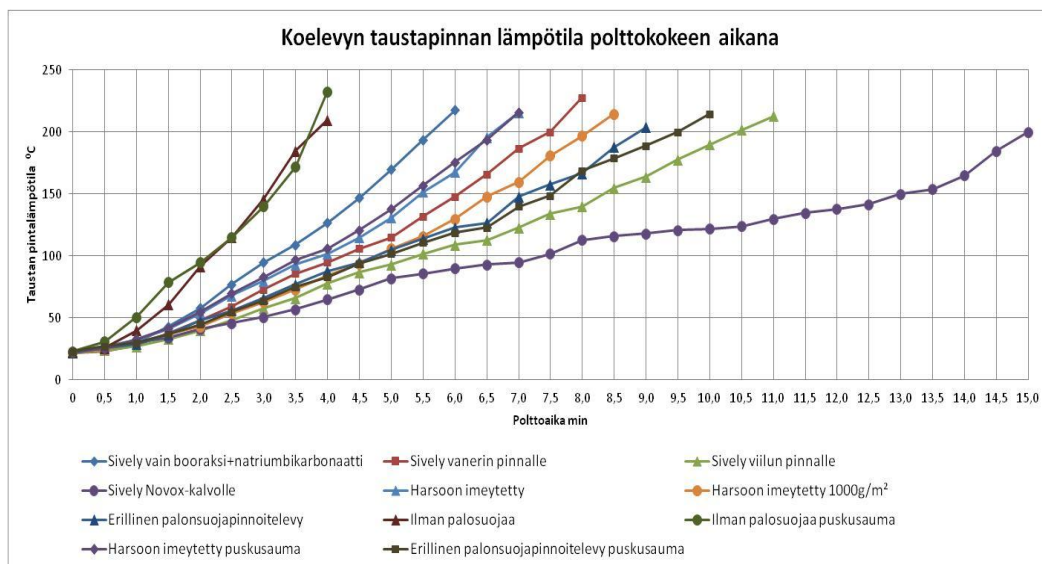
Polttokokeessa koekappaleet asetettiin polttotelineeseen palosuojakerros alaspäin. Polttotelineen alle oli asetettu kaasupoltin, jolla koekappaleet poltettiin. Polttokokeessa vanerin taustalämpötila mitattiin 30 sekunnin välein. Koekappaleita poltettiin niin kauan, että vanerin taustapuoli alkoi tummentua. Tummentuminen alkoi vanerin taustalämpötilan ollessa noin 210 °C (KUVIO 15.)



KUVIO 15. Polttokokeen suorittaminen

7 POLTTOKOKEIDEN TULOKSET

Polttokokeiden tulokset kokonaisuudessaan on esitetty kuviossa 16. Seuraavat alaluvut sisältävät eri polttokokeiden tulosten tulkintaa sekä arviointia.



KUVIO 16. Polttokokeiden tulokset

7.1 Polttokoe vanerin pintaan sivellylle koekappaleelle

Koekappale, joka sisälsi palonsuoja-aineina ainoastaan booraksia ja natriumbikarbonaattia, alkoi tummentua taustapuoleltaan kuuden minuutin polttamisen jälkeen. Toisessa koekappaleessa palonsuojapinnoite oli myös sivelty suoraan vanerin pinnalle. Koekappale sisälsi kaikki palonsuoja-aineet, joita testeissä normaalisti käytettiin. Tämä koekappale alkoi tummentua taustapuoleltaan, kun sitä oli poltettu kahdeksan minuuttia. Näiden polttokokeiden tulosten perusteella palonsuojaseos, joka koostuu booraksista, natriumbikarbonaatista, ammoniumpolyfosfaatista sekä pentaerytritolistä, toimii huomattavasti paremmin kuin palonsuojaseos, jossa palonsuoja-aineina on käytetty ainoastaan booraksia ja natriumbikarbonaattia.

7.2 Polttokoe polyesteriharsoon imeytetylle koekappaleelle

Polttokokeessa kappaleen taustapuoli alkoi tummentua, kun sitä oli poltettu 7 minuuttia. Koekappaleelle suoritettiin myös polttokoe, jossa testattiin puskusauman kestoa. Polttokokeessa kappaletta poltettiin puskusauman kohdalla. Koekappaleen taustapuolen tummentuminen alkoi 7 minuutin kohdalla. Tuloksista näkyy, että puskusauma kesti polttamista yhtä kauan kuin normaali koekappalekin. Polttaessa pintaan muodostuva hiilivaaho estä tulen nopeamman etenemisen sauman kohdalla kappaleen taustapuolelle. Harsoon imeytetylle palonsuojalle suoritettiin vielä kolmas polttokoe, jossa levitysmäärää nostettiin. Tässä kokeessa hartsin määrä oli 1000 g/m^2 ja palonsuojaseoksen määrä hartsin määrästä 66 %. Polttokokeessa kappaleen taustapuoli tummentui, kun sitä oli poltettu 8,5 minuuttia. Levitysmäärän lisäämisen johdosta polttoaika piteni näin ollen 1,5 minuuttia.

7.3 Polttokoe erilliselle palonsuojapinnoitelevylle

Erilliselle palonsuojapinnoitelevylle suoritettiin polttokokeen lisäksi puskusaumapolttokoe. Polttokokeessa kappaleen taustapuoli alkoi tummentua, kun sitä oli poltettu 9 minuuttia. Puskusaumapolttokokeessa taustapuoli alkoi tummentua 10 minuutin polttamisen jälkeen.

7.4 Polttokoe viilun pintaan sivellylle koekappaleelle

Viilun pintaan sivellylle koekappaleelle suoritettussa polttokokeessa taustapuolen tummeneminen alkoi, kun sitä oli poltettu 11 minuuttia. Polttokokeen tulosta ei voida suoraan verrata muihin polttokokeiden tuloksiin, koska palonsuojapinnoitteen ja vanerin välissä oleva viilu hidastaa palamista ja näin ollen kappaleen taustapuolen tummentuminen tapahtuu myöhemmin.

7.5 Polttokoe Novox-kalvon pintaan sivellylle koekappaleelle

Kyseistä koekappaletta poltettaessa palonsuojapinnoite ja Novox-kalvo muodostivat kuumentuessaan paloa eristävän ilmataskun. Koekappaleen pinta paisui polttokokeessa isoksi kuplaksi, joka suojasi vanerilevyä palamiselta. Kun kappaletta oli poltettu 15 minuuttia, päätettiin polttokoe keskeyttää. Koekappaleen pintaan muodostunut kupla eristi tulta niin hyvin, ettei taustapuoli alkanut tummentua. Polttokokeen tulos on erittäin mielenkiintoinen ja antaa aihetta laajempaan tutkimukseen sekä testaukseen. Olisiko jopa mahdollista valmistaa palonsuojapinnoite, joka aina poltettaessa muodostaisi vastaavanlaisen paloeristävän ilmataskun? Polttokokeessa muodostunut ilmatasku on esitetty kuviossa 17. Kuviossa 18 on esitetty poikkileikkaus syntyneestä ilmataskusta.



KUVIO 17. Novox-kalvon ja palonsuojapinnoitteen muodostama ilmatasku



KUVIO 18. Poikkileikkaus syntyneestä ilmataskusta

7.6 Polttokoe pelkälle koivuvanerille

Polttokokeet suoritettiin myös palosuojaamattomalle koivuvanerille. Koivuvanerille tehtiin normaali polttokoe sekä pusksaumapolttokoe. Molemmissa polttokokeissa vanerin tausta alkoi tummentua, kun kappaleita oli poltettu 4 minuuttia.

7.7 Tulosten arviointi

Tämän työn yksi tarkoitus oli tutkia ja selvittää, mitkä menetelmät soveltuvat parhaiten pinnoitelevyn valmistukseen. Tästä syystä valmistettiin koekappaleita, joissa palonsuojapinnoite oli kiinnitetty vaneriin viidellä eri kiinnitysmenetelmällä. Kaikille eri kiinnitysmenetelmillä valmistetuille koekappaleille suoritettiin polttokokeet sekä tulosten analysointi. Taulukossa 3 on esitetty yhteenvetona polttokokeiden tulokset, eli ajat, jolloin vanerin taustapuoli alkoi tummentua.

TAULUKKO 3. Eri kiinnitysmenetelmien sekä palosuojaamattoman koekappaleen polttokokeiden tulokset

Vanerin pintaan siveltyinä	8 min
Viilun pintaan siveltyinä	11 min
Novox-kalvon pintaan siveltyinä	15 min
Polyesteriharsoon imeytettynä	7 min
Erillinen palonsuojapinnoitelevy	7 min
Ilman palosuojaajaa	4 min

Helpoimmaksi tavaksi valmistaa pinnoitelevy osoittautui palonsuojapinnoitteen sively suoraan vanerin pinnalle. Isojen levyjen pinnoittaminen ei kuitenkaan onnistuisi tällä menetelmällä helposti. Yksi varteenotettava menetelmä isoille pinnoille voisikin olla palonsuojapinnoitteen ruiskutus.

Pinnoitelevy, joka oli valmistettu imeyttämällä palonsuojaseos polyesteriharsoon, oli suhteellisen hankala valmistaa. Polyesteriharson huokoinen koostumus vaikeutti palonsuojaseoksen levittämistä. Polyesteriharsoa kokeiltiin kiinnitysmenetelmänä siitä syystä, että se voisi toimia myös äänieristeenä tarvittaessa.

Koekappale jossa oli käytetty erillistä palonsuojapinnoitelevyä, oli helppo valmistaa ja se toimi polttokokeissa hyvin. Koekappaleen valmistaminen tapahtui niin, että ensiksi valmistettiin palonsuojaseoksesta levy, jonka jälkeen se liimattiin vaneriin kiinni.

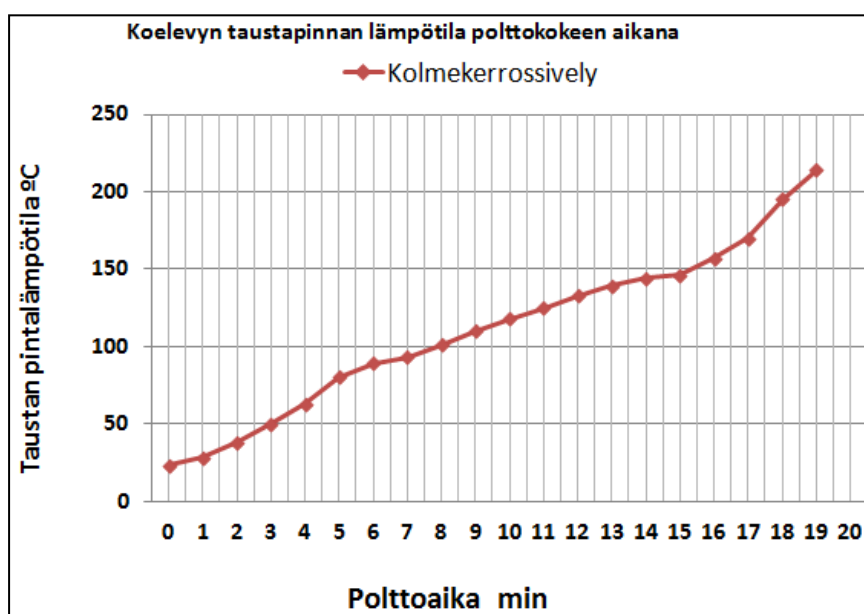
Pinnoitelevy, jonka palonsuojaseos oli levitetty viilun pintaan, kesti polttamista hyvin. Viilun aaltomainen rakenne tuotti valmistuksessa hieman ongelmia, sillä liian pitkäkestoinen kuumapuristaminen aiheutti palonsuojapinnoitteen vaahtoaamista.

Novox-kalvon pintaan oli sivelty palonsuoja-aine. Kalvo kuumapuristettiin vanerilevyyn. Tämä koekappale kesti polttokokeissa ylivoimaisesti pisimpään, koska

poltossa muodostui paloa eristävä ilmatasku. Käytännössä pinnoite irtosi Novox-kalvon pinnasta (KUVIO 18). Suurina pintoina menetelmä ei välttämättä toimi, koska palonsuoja voi kuoriutua pois.

7.8 Jatkotutkimus

Tämän opinnäytetyön tulosten pohjalta toteutettiin jatkokokeena koepolttot, jossa vanerilevyn pintaan siveltiin palonsuojaseosta kolme kerrosta. Näiden kolmen kerroksen palonsuojaseoksen kokonaislevitysmäärä vastasi varsinaisissa kokeissa käytettyä levitysmäärää, joka oli 800 g/m^2 . Palonsuojaseoksen määrä oli myös sama kuin varsinaisissa kokeissa, eli 66 % akryylin määrästä. Kerroksien väli käsiteltiin painelemalla silikoniöjyyn kastetulla pumpulipuikolla levyn pintaan joitakin täpliä. Näin estettiin seuraavaa sivelykertaa tarttumasta pintaan joka kohdasta. Polttokokeessa syntyi osin kerroksittainen vaahto, jossa oli joukossa isompia kuplia. Jatkokokeessa onnistuttiin siis aikaansaamaan primäärikuplia, jotka muodostuvat sekundäärikuplista. Taustapinnan lämpötila ylitti 200°C noin 18 min kuluttua. Jos palosuoja-aine saadaan muodostamaan päällekkäisiä hiilivaahtokerroksia, voidaan samalla levitysmäärällä saavuttaa hyvät palosuojaominaisuudet. Jatkotutkimuksen tulos on esitetty kuviossa 19.



KUVIO 19. Jatkotutkimuksen polttokokeen tulos

8 YHTEENVETO

Tavoitteena tässä opinnäytetyössä oli selvittää puusta valmistettujen levytuotteiden palonkestävyyttä käyttämällä palonsuojapinnoitetta. Lisäksi työssä tutkittiin ja selvitettiin, mitkä aineet soveltuisivat parhaiten palonsuojapinnoitteen valmistukseen sekä mitkä menetelmät soveltuvat parhaiten pinnoitelevyn valmistukseen.

Ennen työn varsinaisten testien aloittamista projektiryhmä teki hypoteesin, jonka mukaan palon etenemistä voitaisiin estää tai hidastaa palonsuojapinnoitteella. Kyseinen pinnoite muodostaisi palotilanteessa hiilivaahtoa, joka muodostaa palonsuojan estäen tulen leviämisen.

Työn alkuvaiheessa suoritettiin koevalmisteluja, joiden tarkoitus oli selvittää, mitkä materiaalit sopivat parhaiten palonsuojapinnoitteen valmistukseen. Koevalmisteluissa suoritettiin myös polttokokeita, joiden perusteella materiaalivalinnat tehtiin.

Koevalmistelujen jälkeen suoritettiin esitestejä, joiden tarkoituksena oli selvittää palonsuoja-aineiden ja akryylin parhaat seossuhteet sekä palonsuojapinnoitteen optimaalisin levitysmäärä. Näiden tulosten perusteella päätettiin, millä seossuhteella sekä levitysmäärällä varsinaiset testit suoritettiin. Varsinaisissa testeissä kartoitettiin, millä menetelmillä palonsuojapinnoite voidaan parhaiten kiinnittää vanerin pintaan sekä kuinka nämä menetelmät toimivat polttokokeissa.

Polttokokeiden tulosten perusteella muovipohjainen palonsuojapinnoite hidastaa palamista merkittävästi. Palosuojattujen koekappaleiden taustapuolen tummentuminen kesti useita minuutteja pidempään kuin pelkän vanerin taustapuolen tummentuminen. Poltettaessa palonsuojapinnoite muodosti pintaan hiilivaahtoa joka hidasti palamista. Palonsuojapinnoite ei muodostanut savua juuri lainkaan ja sammui välittömästi kun polttaminen lopetettiin. Palonsuojapinnoitteen kiinnitysmenetelmissä ei tässä työssä havaittu merkittävää eroa. Tässä työssä kokeet suoritettiin pienille koekappaleille, eivätkä tulokset näin ollen anna aivan todellista kuvaa siitä, kuinka kiinnitysmenetelmät toimivat suurille pinnoille.

Työssä saavutetut tulokset antavat aihetta laajemmille jatkotutkimuksille. Tutkimuksissa voitaisiin seuraavaksi keskittyä muun muassa siihen, kuinka suurempia levypintoja voitaisiin pinnoittaa palonsuoja-aineilla mahdollisimman tehokkaasti ja helposti sekä kuinka palonsuojapinnoitettuja levytuotteita voitaisiin alkaa hyödyntää rakennusteollisuudessa. Mielenkiintoinen opinnäytetyön teon aikana esiin tullut seikka oli myös paloa eristävän ilmataskun muodostuminen Novox-kalvon ja palonsuojapinnoitteen kuumenemisen yhteydessä. Ilmiön tarkempi analysointi voisi johtaa ratkaisuun, jossa aikaansaataisiin palonsuojalevy, joka aina kuumentuessaan muodostaisi paloa eristäviä ilmataskuja. Työn varsinaisten koepolttojen jälkeen suoritettut jatkotutkimukset aikaansaatavat erittäin merkittäviä tuloksia palonsuoja-aineen kyvystä muodostaa päällekkäisiä hiilivaahtokerroksia. Tällä monikerrosmenetelmällä on mahdollista aikaansaada pienemmällä palonsuojapinnoitteen levitysmäärällä paremmat palonsuojaominaisuudet. Tästä syystä kyseiselle monikerrosmenetelmälle olisi aiheellista suorittaa laajempia jatkotutkimuksia.

LÄHTEET

Esaar International. 2011. Pentaerythritol. IndiaMART [viitattu 15.9.2011]. Saatavissa: <http://www.paintsrawmaterials.com/pentaerythritol.html>

European flame retardants association. 2006. Flame retardant fact sheet, Ammonium polyphosphate [viitattu 10.9.2011]. Saatavissa: <http://www.ceficefra.com/Objects/2/Files/APPFactSheet.pdf>

Fysikaalisen farmasian yhdistys. 2004. Polymorfi 1/2004 [viitattu 17.9.2011]. Saatavissa: <http://www.fysikaalinenfarmasia.fi/pdf/polymorfi2004.pdf>

Suomi on palokuolemien synkkää aluetta. 2009. Helsingin Sanomat [viitattu 16.10.2011]. Saatavissa: <http://www.hs.fi/kotimaa/artikkeli/Suomi+on+palokuolemien+synkk%C3%A4%C3%A4+aluetta/1135249967751>

Hyttinen, V., Tolonen, P. & Väisänen, T. 2008. Palofysiikka. Kuopio: Pelastusopisto.

Järvinen, P. 2000. Muovin suomalainen käsikirja. Söderkulla: Muovifakta Oy.

Järvinen, P. 2008. Uusi muovitieto. Söderkulla: Muovifakta Oy.

Minerals zone. 2005. Borax And Related Borates [viitattu 15.9.2011]. Saatavissa: <http://www.mineralszone.com/minerals/borax.html>

Simon, S. Woodcoatings, Developements for a Sustainable Future, High Performance Fire Retardant Coatings. Nide.

Sisäasiainministeriö. 2011. Palokuolemat [viitattu 12.10.2011]. Saatavissa: <http://www.pelastustoimi.fi/turvatietao/palokuolemat/>

Sodiumbikarbonate CAS N°: 144-55-8. 2002. SIDS Initial Assessment Report For SIAM 15. [viitattu 21.10.2011]. Saatavissa: <http://www.inchem.org/documents/sids/sids/sodbicarb.pdf>

SouthWood. 2009. Puutuotevalmistuksen ja rakentamisen kehittämishanke [viitattu 24.9.2011]. Saatavissa: <http://www.southwood.fi/fi/hanke-esittely>

Tammela, V. 1989. Polymeeritiede ja Muoviteknologia. Osa III. Helsinki: Haka-paino Oy.

Tampereen teknillisen yliopisto, Valimoinstituutti, Aalto-yliopisto. 2009. Polyme-tyylimetakrylaatti [viitattu 22.10.2011]. Saatavissa:
http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/plastics_PMMA_FI.pdf

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2011. EAKR-ohjelmat [viitattu 20.9.2011]. Saatavis-sa:
http://www.rakennerahastot.fi/rakennerahastot/fi/02_eu_rr_ohjelmat/01_eakr/index.jsp

LIITTEET

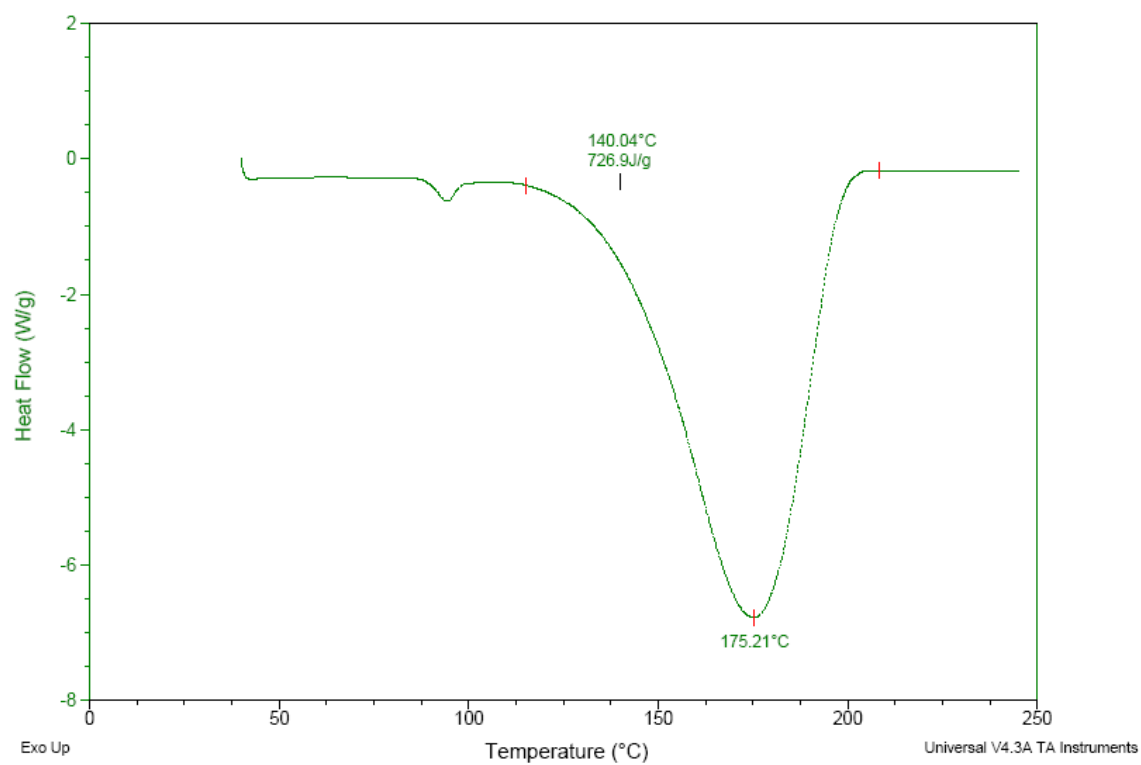
Natriumbikarbonaatin DSC-tulokset

LIITE 1

Sample: Ruokasooda_1
Size: 2.1000 mg
Method: Isothermal for
Comment: 21.9 eka ajo

DSC

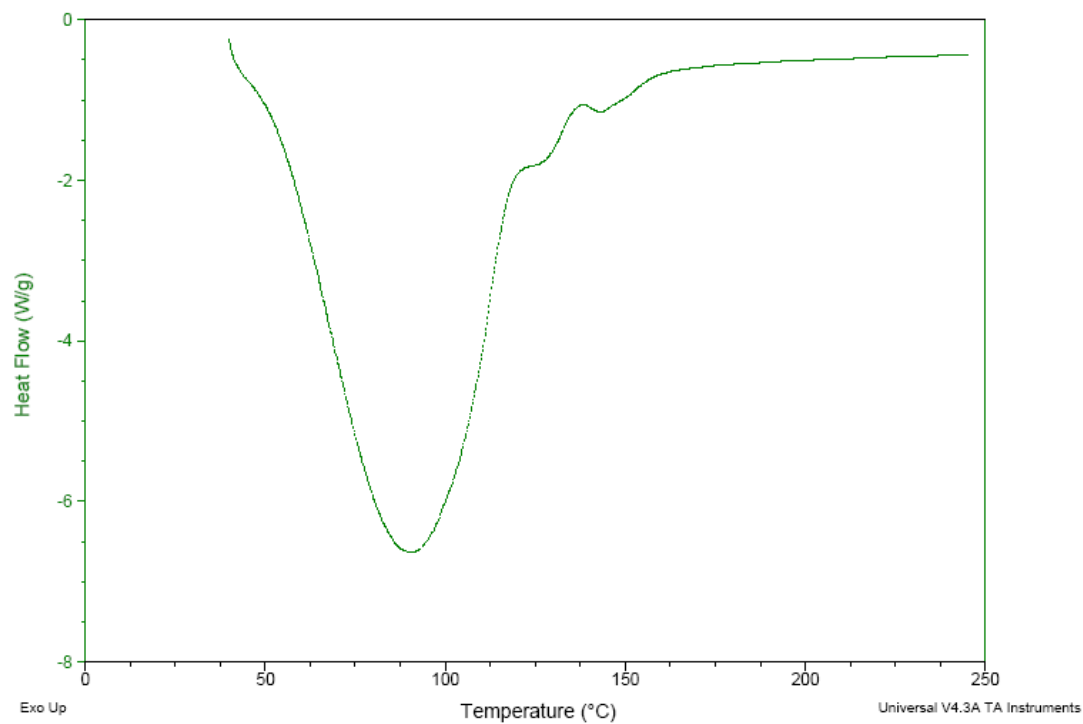
File: C:\TA\Data\DSC\pinno.001
Operator: rh
Run Date: 21-Sep-2010 10:55
Instrument: DSC Q100 V9.8 Build 296



Sample: Booraksi_1
Size: 3.8000 mg
Method: Isothermal for
Comment: 21.9.2010

DSC

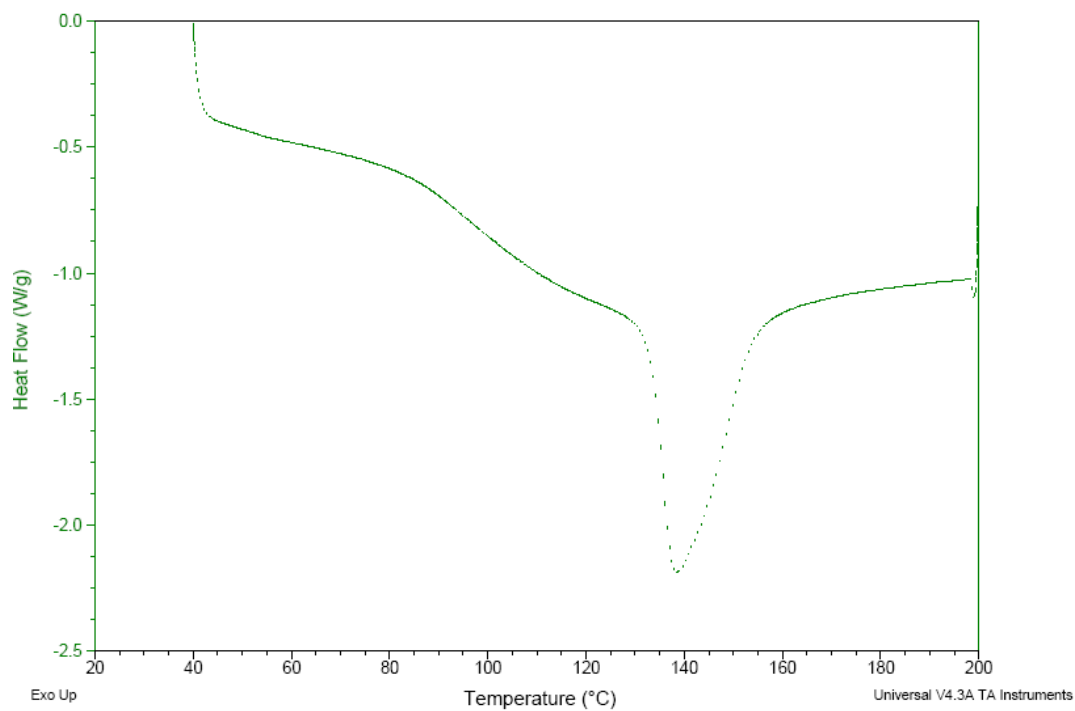
File: C:\TA\Data\DSC\pinno.008
Operator: rh
Run Date: 21-Sep-2010 13:03
Instrument: DSC Q100 V9.8 Build 296



Sample: booraksi 20-200
Size: 3.0000 mg
Method: Isothermal for
Comment: booraksin lämmitys 20-200

DSC

File: C:\DSC\Pinno_booraksin lämmitys.002
Operator: rh
Run Date: 29-Sep-2010 15:11
Instrument: DSC Q100 V9.8 Build 296



Palosuojaajanäytteen koepolttot

Poltto meneillään



Polton jälkitilanne



Lopputulot



Akryylilevyn koepoltto

Poltto meneillään



Polton jälkitilanne



Lopputulokset



Puun koepoltto (6 mm vaneri)

Poltto meneillään Polton jälkitilanne Lopputulos



KOELEVYN TAUSTAPINNAN LÄMPÖTILA POLTTOKOKEEN AIKANA																	
Koelevyn materiaali / Polttoaika (min)	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8
Levitys 200g/m² Palosuojaja-aine 33 %	27	31	45	65	88	107	132	160	194	228							
Levitys 400g/m² Palosuojaja-aine 33 %	26	28	43	63	85	105	130	158	193	224							
Levitys 800g/m² Palosuojaja-aine 33 %	25	28	37	57	74	93	104	129	155	185	215						
Levitys 200g/m² Palosuojaja-aine 66 %	25	27	40	61	86	105	124	148	187	225							
Levitys 400g/m² Palosuojaja-aine 66 %	26	28	39	59	76	97	108	126	155	179	200	231					
Levitys 800g/m² Palosuojaja-aine 66 %	26	31	43	57	72	88	102	115	133	157	184	209	229				
Levitys 200g/m² Palosuojaja-aine 100 %	26	29	41	65	76	98	113	128	159	185	208	236					
Levitys 400g/m² Palosuojaja-aine 100 %	26	27	35	48	63	78	90	105	113	129	141	158	164	188	198	213	
Levitys 800g/m² Palosuojaja-aine 100 %	25	26	32	45	63	73	88	105	117	133	143	155	168	190	201	224	
Ilman palosuojaa	23	26	40	61	92	115	146	185	210								

[illegible]